

VŠB – Technická universita Ostrava

Fakulta Strojní

Katedra výrobních strojů a konstruování

Chladicí sekce laboratorní plazmové pece

Cooling Branch of Laboratory Plasma Smelters

Student:

Jakub Kulhánek

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Zdeněk Noga, CSc.

Ostrava 2011

VŠB - Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra výrobních strojů a konstruování

Zadání bakalářské práce

Student: **Jakub Kulhánek**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2302R010 Konstrukce strojů a zařízení
Specializace: 20 Výrobní stroje a zařízení
Téma: Chladicí sekce laboratorní plazmové pece
Cooling Branch of Laboratory Plasma Smelters

Zásady pro vypracování:

Pro potřebu laboratoří FMMI navrhnete chladicí sekci polo-kontinuální laboratorní pece. Při zpracovávání 3D modelu konstrukčního návrhu zařízení vycházejte z jeho stávajícího provedení. Pozornost věnujte zejména zabezpečení chlazení navrhovaného zařízení, prostorovým možnostem umístění chlazené taveniny a diagnostice.

Proveďte :

1. Technickou zprávu s popisem funkce navrženého zařízení a nezbytnými výpočty ve členění – seznam požadavků, funkční a orgánová struktura, morfologická matice a stavební struktura.
2. 3D model konstrukčního návrhu zařízení.
3. Výrobní výkresovou dokumentaci chladicí sekce.

Rozsah výtahu z Bakalářského projektu v textové části práce cca 5str., rozsah výkresové části min. 1A0

Seznam doporučené odborné literatury:

ČSN 01 6910 *Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory*. Praha: Český normalizační institut, srpen 1997. 36 s.

ČSN ISO 690 *Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura*. Praha: Český normalizační institut, 1996. 32 s.

HUBKA, V. *Konstrukční nauka* Zürich: Heurista, 1995. 105s. ISBN 80-90 1135-0-8

LITERÁRNÍ REŠERŠE – zpracovaná v rámci Bakalářského projektu

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Zdeněk Noga, CSc.**

Datum zadání: 17.12.2010

Datum odevzdání: 23.05.2011



doc. Dr. Ing. Ladislav Kovář
vedoucí katedry



prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 22. května 2011

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že:

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména §35 - užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 - školní dílo.

- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB - TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3).

- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB – TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce.

- bylo sjednáno, že s VŠB - TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.

- bylo sjednáno, že užít své dílo - diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB - TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB -TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o veřejných školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě

.....

Plné jméno

Adresa trvalého pobytu:

Sedliště 240

Sedliště, 739 36

Česká republika

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Kulhánek, J. Chladicí sekce laboratorní pece. Ostrava: Fakulta strojní VŠB-Technická universita Ostrava, 2011, 47 s. Bakalářská práce, vedoucí Ing. Zdeněk Noga, CSc.

Bakalářská práce se zabývá konstrukčním návrhem chladicí sekce plazmové laboratorní pece. V úvodu vysvětluje pojem chladicí médium a jeho rozdělení. Obsahem dalších kapitol je technická zpráva složená z upřesněných požadavků na zařízení ve formě požadavkového listu, funkční struktury, orgánové struktury a stavební struktury. V následujících kapitolách jsou uvedeny nezbytné výpočty pro správné fungování zařízení. Důraz je kladen na chlazení pracovního prostoru pece a na posuv kokily v horizontálním a vertikálním směru.

ANOTATION OF THESIS

Kulhánek, J. Cooling Branch of Laboratory Plasma Smeltery. Ostrava: VŠB-Technical Faculty of mechanical engineering at the University of Ostrava, 2011, 47 p. Bachelor's thesis, leader Ing. Zdeněk Noga, CSc.

Bachelor's thesis deals with the design of cooling section of laboratory plasma smeltery. In the introduction explains the concept of the cooling medium and its distribution. The content of the other chapters of the technical report is composed of the requirements specified for the device in the form of requirements list, the functional structure, organ structures and building structures. In the following chapters are listed necessary calculations for the correct functioning of the device. The emphasis is on cooling the workspace furnaces, and the shift of the ingot moulds in the horizontal and vertical direction.

OBSAH

Seznam použitých symbolů	10
1. Úvod	13
2. Výtah z literární rešerše	14
2.1. Chladicí medium	14
2.2. Druhy chladicího media	14
2.3. Chlazení vodou	17
2.3.1 Výhody	17
2.3.2 Využití vodního chlazení	17
3. Konstrukční návrh	19
3.1. Požadavkový list	19
3.2. Technický proces	20
3.3. Funkční struktura	22
3.4. Orgánová struktura	23
3.5. Hrubá stavební struktura	25
3.6. Úplná stavební struktura (konstrukční návrh)	26
4. Výpočet chlazení chladicí sekce laboratorní pece	27
4.1. Energetická bilance plazmových pecí	27
4.2. Základní bilanční rovnice	28
4.3. Hmotnostní tok vody	29
4.4. Průřez chladicího kanálku	29
4.5. Výpočet teplotního rozdílu vody na vstupu a výstupu	29
4.6. Teplota výstupní chladicí vody	30
4.7. Součinitel přestupu tepla	30
4.8. Reynoldsovo číslo	31
4.9. Hydraulický průměr kanálu	31
4.10 Teplota vnější stěny pláště	33
4.11 Teplota vnitřní stěny pláště	34

4.12. Kontrola návrhu chlazení pomocí bilanční rovnice	35
5. Výpočet chlazení manipulačního víka chladicí sekce	35
5.1. Výpočet teplotního rozdílu vody na vstupu a výstupu	36
5.2. Teplota výstupní chladicí vody	36
5.3. Součinitel přestupu tepla.....	36
5.4 Teplota vnější stěny pláště	37
5.5. Teplota vnitřní stěny pláště	37
5.6. Kontrola návrhu chlazení pomocí bilanční rovnice	38
6. Výpočet chlazení příčky	39
6.1. Výpočet teplotního rozdílu vody na vstupu a výstupu	40
6.2. Teplota výstupní chladicí vody	40
6.3. Součinitel přestupu tepla.....	40
6.4 Teplota vnější stěny pláště	41
6.5. Teplota vnitřní stěny pláště	41
6.6. Kontrola návrhu chlazení pomocí bilanční rovnice	42
7. Výpočet tlakových ztrát	43
7.1. Schéma rozvinutého pláště s chladicím kanálem.....	43
7.2. Výpočet celkové tlakové ztráty	44
7.3. Výpočet třecích ztrát	44
7.3.1 Stanovení součinitele tření	44
7.3.2. Výpočet tlakové ztráty třením.....	44
7.3.3. Výpočet tlakových ztrát místními odpory	46
7.3.4. Ztráta na vtoku s rozšířeným průřezem.....	46
7.3.5. Výpočet ztráty v kolenu s ostrým ohybem 90°	47
7.4. Celková tlaková ztráta	47
8. Technický popis zařízení	48
9. Závěr	50
10. Seznam použité literatury	51
10.1. Knihy a časopisy	51

10.2. Internetové zdroje.....	51
11. Seznam obrázků	52

Seznam použitých symbolů

a	m	Výška kanálu
a_{H_2O}	$m^2 \cdot s^{-1}$	Teplotní vodivost vody
b	M	Šířka kanálu
c	l	konstanta
c_{pH_2O}	$kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$	Měrná tepelná kapacita
d_h	m	Hydraulický průměr kanálu
d_v	m	Průměr vtoku
l	m	Výška pláště hořákové sekce
l_p	m	Tloušťka stěny víka-voleno
\dot{m}	$kg \cdot s^{-1}$	Hmotnostní tok vody
n	l	Koeficient
n_{k90}	l	Počet kolen s ostrým ohybem 90°
Δp_z	Pa	Celková tlaková ztráta
Δp_{zm}	Pa	Celkové místní ztráty
Δp_{ztr}	Pa	Celkové ztráty třením
r_1	m	Poloměr vnitřní strany pláště
r_2	m	Poloměr vnější strany pláště
Δt	°C	Střední teplotní spád
Δt_{H_2O}	°C	Rozdíl teplot na vstupu a výstupu pláště
Δt_{H_2OP}	°C	Rozdíl teplot na vstupu a výstupu příčky
Δt_{H_2OV}	°C	Rozdíl teplot na vstupu a výstupu víka
$t_{H_2Ostř}$	°C	Střední teplota vody pláště
$t_{H_2Ostřl}$	°C	Střední teplota vody víka
$t_{H_2OstřP}$	°C	Střední teplota vody příčky
$\Delta t_{H_2Ovýstup}$	°C	Teplota výstupní chladicí vody pláště
$\Delta t_{H_2Ovýstupl}$	°C	Teplota výstupní chladicí vody víka
$\Delta t_{H_2OvýstupP}$	°C	Teplota výstupní chladicí vody příčky
t_{svn}	°C	Vnější teplota stěny pláště
t_{svnl}	°C	Vnější teplota stěny víka
t_{svnP}	°C	Vnější teplota stěny příčky
t_{svnit}	°C	Vnitřní teplota stěny pláště

t_{svnitl}	$^{\circ}\text{C}$	Vnitřní teplota stěny víka
t_{svnitP}	$^{\circ}\text{C}$	Vnitřní teplota stěny příčky
t_{T}	$^{\circ}\text{C}$	Teplota (bod) tuhnutí
t_{V}	$^{\circ}\text{C}$	Teplota (bod) varu
w	m.s^{-1}	Rychlost proudění vody
A	l	Koeficient
D	m	Vnitřní průměr pece
L_{K}	m	Délka kanálu pláště
L_{KP}	m	Délka kanálu příčky
L_{KV}	m	Délka kanálu dvířek
L_{V}	m	Délka jednotlivých úseků potrubí
M	kg.kmol^{-1}	Molová hmotnost
Nu	l	Nuseltovo číslo
O	m	Obvod chladicího kanálu
P	W	Tepelný výkon
P_{K}	MPa	Kritický tlak
P_{P}	W	Tepelný výkon příčky
P_{r}	l	Prantlovo kritérium
P_{V}	W	Tepelný výkon víka
Re	l	Reynoldsovo číslo
S	m^2	Průřez chladicího kanálu
S_1	m^2	Průřez chladicího kanálu víka
S_{DR1}	m^2	Plocha drážky
S_{DR2}	m^2	Plocha drážky
S_{DR3}	m^2	Plocha drážky
S_{K}	m^2	Teplosměnná plocha chladicího kanálu pláště
S_{KV}	m^2	Teplosměnná plocha chladicího kanálu víka
S_{p}	m^2	Teplosměnná plocha víka
S_{V}	m^2	Průřez vtoku
Λ	l	Součinitel tření
α	$\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$	Součinitel přestupu tepla
ζ	l	Součinitel tření na vtoku
κ	l	Adiabatický exponent

λ	$\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$	Součinitel prostupu tepla stěnou
$\lambda_{\text{H}_2\text{O}}$	$\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$	Součinitel tepelné vodivosti
$\rho_{\text{H}_2\text{O}}$	kg.m^{-3}	Hustota vody
$\nu_{\text{H}_2\text{O}}$	m^2s^{-1}	Kinematická viskozita vody
χ	1	Teplotní součinitel plynů a kapalin $\kappa=1$

1. Úvod

Úkolem této práce je navrhnout pro potřeby fakulty FMMI na VŠB-TU Ostrava chladicí sekci laboratorní plazmové pece pro tavení titanových slitin. Při návrhu této sekce bude vycházeno ze stávajících rozměrů již fungujícího zařízení.

Tato práce se zaměří hlavně na návrh chlazení této sekce, a také na možnost vertikálního a podélného posuvu kokily, která se nachází uvnitř pece. Hlavním problémem je návrh dostatečného chlazení a to z důvodu velkého vyzařování energie, kterou je zapotřebí odvést a rozptýlit do okolí tak, aby nedošlo k poškození zařízení. Tento problém lze řešit návrhem chladicího kanálu, kterým bude protékat chladicí médium s takovým průtokem, aby docházelo k dostatečné cirkulaci média.

Na sekci je umístěn otvor pro přívod ochranné atmosféry, který je doplněn o kyslíkový analyzátor. Další otvory umístěny na sekci jsou určeny pro přívod a odvod média z chladicího okruhu, na výtoku je umístěn průtokoměr a teploměr pro měření průtoku a výstupní teploty média.

Všechny měřicí a regulační prvky jsou napojeny na PC, kde se budou ukládat průběžně naměřené data a následně vyhodnocovat.

2. Výtah z literární rešerše

2.1. Chladicí médium

Chladicí médium je tekutina, která proudí skrz zařízení, aby ho ochránila před přehřátím a přenášela teplo produkované tímto zařízením do jiného zařízení, kde se využije nebo rozptýlí. Ideální médium má velkou tepelnou kapacitu, nízkou viskozitu, je levné, chemicky inertní a nezpůsobuje ani nepodporuje korozi chladicího systému. Některé aplikace navíc vyžadují, aby bylo chladicí médium elektrickým izolantem. [10]

Zatímco termín chladicí médium se běžně používá v automobilových, bytových a komerčních aplikacích pro regulaci teploty, v průmyslových procesech se častěji používá termín teplotnosné médium, a to jak v nízkoteplotních, tak vysokoteplotních výrobních aplikacích. [10]

Chladicí médium může buď zůstat ve stejné fázi, tedy kapalně nebo plynně, anebo může podléhat fázové přeměně, kdy se chladicí účinnost zvyšuje latentním teplem. Ve druhém případě, s cílem dosáhnout nízké teploty, je běžnějším termínem chladivo. [10]

2.2. Druhy chladicího média

Mezi základní druhy chladicího média můžeme zařadit chlazení za pomoci plynů a kapalin, které dále můžeme rozdělit takto:

Mezi plyny řadíme:

Vzduch – Vzduchové chlazení může být buď pasivní konvekcí nebo cirkulací vynucenou ventilátorem. [10]

Vodík – Díky vysoké tepelné vodivosti je vodík dodnes nejvíce používaný v oblasti chlazení turbogenerátorů. Prvním turbogenerátor chlazený vodíkem byl uveden do provozu v roce 1937 v Daytonu společností Dayton Power & Light. [10]

Helium – Helium patří mezi netečné plyny, nejčastěji se používá k chlazení jaderných reaktorů. Tento plyn je k tomuto účelu používán nejčastěji díky malé tendenci pohlcovat neutrony a stávat se radioaktivní. K tomuto typu chlazení lze také kromě Helia použít **Dusík**, nebo **Oxid uhličitý**. [10]

Argon - Bezbarvý plyn, bez chuti a zápachu, nereaktivní, úplně inertní. Argon, stejně jako ostatní vzácné plyny, má malý elektrický odpor a vede velmi dobře elektrický proud. Díky tomu vznikají elektrické výboje v uzavřených trubicích, kterými prochází elektrický proud. Toho se využívá v osvětlovací technice. Argon září při vyšší koncentraci červeně, při nižší přechází přes fialovou a modrou až k bílé barvě. [12]

Tab. 1. Fyzikální vlastnosti technických plynů [2].

Název plynu	Molová hmotnost M kg.kmol ⁻¹	Hustota v nor.stavu ρ kg.m ⁻³	Měrná plyn. Konstanta r J.kg ⁻¹ .K ⁻¹	Měrná tepelná kapacita Cp kJ.kg ⁻¹ .K ⁻¹	Adiabat. Exponent κ -	Teplota varu t _v °C
Vzduch -	28,96	1,293	287	1,005	1,40	-194,0
Vodík H ₂	2,016	0,0899	4121,7	14,235	1,41	-252,8
Helium He	4,002	0,179	2079,0	5,324	1,66	-268,9
Argon Ar	39,994	1,784	208,2	0,523	1,67	-185,9
Dusík N ₂	28,015	1,251	296,7	1,043	1,40	-195,8
Oxid uhličitý CO ₂	44,01	1,977	188,8	0,825	1,31	-78,5

Mezi kapaliny řadíme:

Voda – Touto kapalinou se budu zabývat v další kapitole.

Nemrzoucí kapaliny – Je to voda obohacená nejčastěji o roztok (ethylenglykolu, diethylenglykolu nebo propylenglykolu). Této kapaliny se užívá v případě, že je potřeba pracovat v teplotách pod bodem mrazu, nebo je-li potřeba zvýšit teplotu varu. Tyto kapaliny se nejčastěji používají v automobilovém průmyslu. [10]

Deionizovaná voda – Tento druh kapaliny je velmi čistý a pro svou nízkou elektrickou vodivost se používá v některých elektrických zařízeních, zejména při přenosu vysokých výkonů. [10]

Těžká voda – Používá se k chlazení některých jaderných reaktorů, kde se současně používá jako moderátor. [10]

Oleje – Používají se pro aplikaci do míst, kde se voda nehodí. Mají vyšší teplotu varu než voda, lze je tedy ohřát na vyšší teplotu (nad 100 °C) bez nutnosti zvyšovat tlak v systému. [10]

Tab. 2. Fyzikálně - chemické vlastnosti kapalin [2]

	Hustota 25°C ρ kg.m ⁻³	Max. Hustota ρ_M kg.m ⁻³	Bod varu t_v °C	Bod tuhnutí t_T °C	Kritický tlak p_K MPa
Voda H ₂ O	997.045	1000.00	100	0	22.13
Těžká voda D ₂ O	1104.46	1105.97	101.43	3.813	21.73
Olej	800-1100	-	220	-58	-

2.3. Chlazení vodou

Vodní chlazení je metoda vyjmutí tepla z komponentu, která se, na rozdíl od chlazení vzduchem, používá jako tepelný přenašeč. Vodní chlazení se běžně používá pro chlazení spalovacích motorů v automobilech a pro chlazení velkých elektrických generátorů. Jiná použití zahrnují chlazení mazacího oleje čerpadel, pro účely chlazení výměníků tepla, chlazení jednotlivých hlavních komponentů uvnitř špičkových osobních počítačů. Hlavním mechanismem pro vodní chlazení je konvekční převod tepla. [11]

2.3.1 Výhody

Výhody použití vodního chlazení oproti vzduchovému chlazení jsou takové, že voda obsahuje vyšší měrnou tepelnou kapacitu, hustotu, a má lepší tepelnou vodivost. To umožňuje vodě přenášet teplo na větší vzdálenosti s mnohem menším průtokem a snížením rozdílu teplot. [11]

2.3.2 Využití vodního chlazení

Vodní chlazení lze využít v mnoha průmyslových odvětvích. V těchto odvětvích je mnohdy vodní chlazení důležitou částí, bez které by zařízení nemohlo fungovat.

Je to například v energetickém průmyslu, kde voda musí neustále cirkulovat přes výměníky tepla a další zařízení, kde voda absorbuje teplo. Teplo je pak odváděno do atmosféry částečným odpařením vody v chladicích věžích. Některé elektrárny, především ty jaderné, využívají jako chladicí kapalinu těžkou vodu a to proto, že je to slabší moderátor nukleární řetězové reakce. Toto umožňuje velikost aktivní zóny reaktoru zmenšit nebo použít méně obohacené palivo. Pro hlavní chladicí systémy je lepší normální voda, která prochází přes výměník tepla než voda těžká, která je mnohem dražší. [11]

Kromě chlazení jaderných reaktorů se voda používá také v hutním průmyslu, který je velkým spotřebitelem chladicí vody. Jeho základním výrobkem je surové železo získávané ve vysokých pecích. Tyto pece musí být chlazeny, neboť jejich vyzdívka je silně namáhána vysokými teplotami roztavených hmot, otěrem při klesání těchto hmot,

jejich velkou vahou a struskováním. Chladí se pecní plášť, čímž se zabraňuje nebezpečným průvalům roztavených hmot. [3]

Také provoz sléváren, oceláren a válcoven se neobejde bez chlazení vodou (pecí, válcovacích stolic – kde je chlazení přímé, atd.) [3]

Velmi významné je chlazení vodou v průmyslu báňském a koksárenském. Jde tu o povrchové chlazení plášťů kompresorů a turbokompresorů, vyrábějících stlačený vzduch pro pohon různých důlních strojů a chlazení důlních lokomotiv. [3]

V poslední době se vodní chlazení používá pro chlazení počítačových komponentů, především CPU. Vodní chlazení se obvykle skládá z CPU bloku vody, vodního čerpadla a výměníků tepla (obvykle radiátor s připojeným ventilátorem). Vodní chlazení umožňuje nejen tišší provoz a lepší přetaktování, ale má lepší tepelně manipulační schopnosti, díky kterým mohou být podporovány i teplejší procesory. [11]

3. Konstrukční návrh

3.1. Požadavkový list

Jako předpoklad k vytvoření požadavkového listu nám slouží zadání úkolu v obecné podobě. Nyní je nutné toto zadání doplnit, údaje pokud možno kvantifikovat, požadavky uspořádat a určit jejich významnost. Tyto požadavky lze potom uspořádat do požadavkového listu, který je znázorněn v Tab. 3. [1].

Tab. 3. Požadavkový list [1].

SPECIFIKACE POŽADAVKU:	PODMÍNKA	PŘÁNÍ
Chlazení: <ul style="list-style-type: none">- Účinné chlazení pláště pece- Chladicí voda nesmí překročit bod varu- Při výtoku nesmí voda překročit 40°C- Regulace přítoku vody- Kontrola teploty v chladicí komoře	X X X X X	
Odvětrávání: <ul style="list-style-type: none">- Zajištění atmosféry bez kyslíku- Přívod argonu- Odvod kyslíku a argonu z prostoru chladicí sekce- Montáž analyzátoru kyslíku při odvodu	X X X X	
Manipulace: <ul style="list-style-type: none">- Pohyb kokily ve svislém i vodorovném směru- Zajištění polohy kokily- Snadné vytáhnutí kokily s materiálem	X X X	

Rozměry: - Vnitřní průměr chladicí sekce Ø344mm	X	
Provoz: - Prostředí – laboratoř - Údržba – minimální	X	X
Materiál: - Odolnost proti vysokým teplotám - Dobrá tepelná vodivost - Vysoká teplota tání	X X X	
Vzhled: - Rozměry dle dispozic laboratoře - Upravený povrch pláště nádoby	X X	
Výroba: - Kusová	X	
Ergonomie: - Jednoduchá manipulace a ovládání - Rychlé sestavení pece	X X	

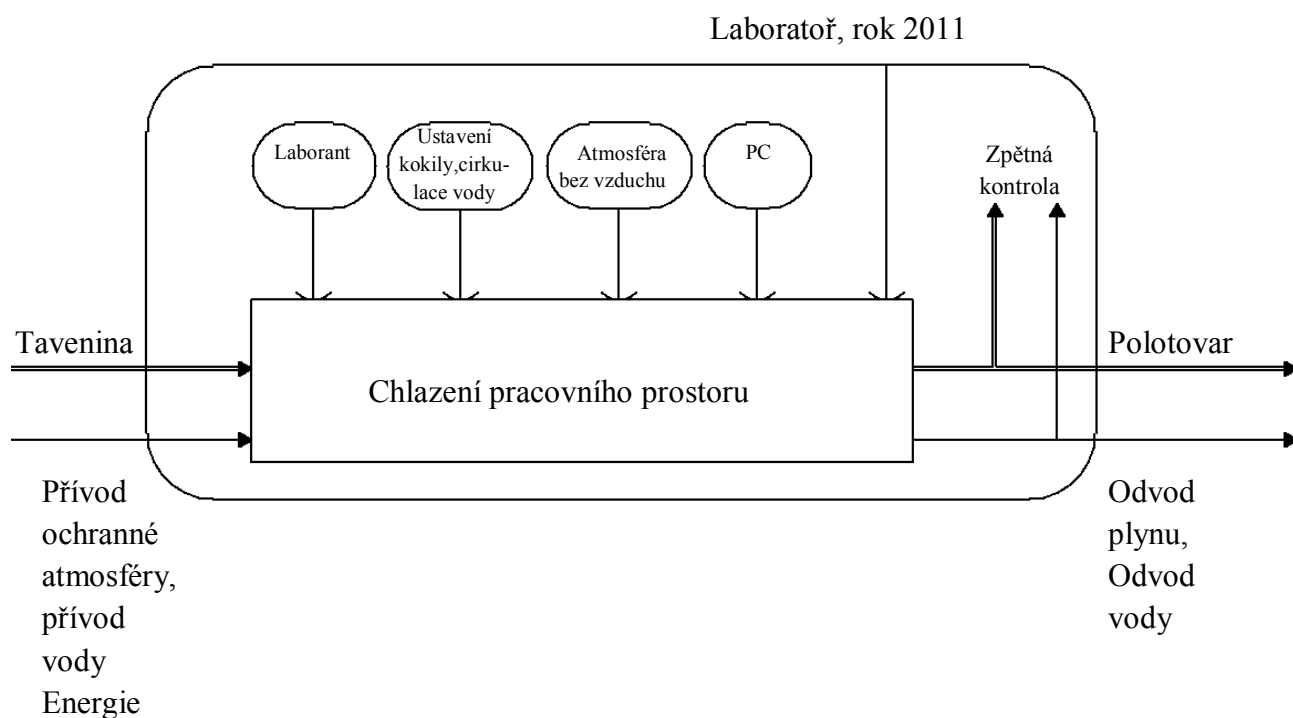
3.2. Technický proces

Je to umělý proces, ve kterém je stav materiálních a biologických objektů, energie a informací plánovitě měněn vlivem účinků člověka a technických prostředků. Tvorba technického procesu spočívá v aplikaci základních přírodních zákonů a poznatků. To znamená na znalostech fyzikálních, chemických a biologických zákonitostí. [1].

Funkce technického procesu

- Připojení příruby chladicí sekce ke krystalizátoru
- Ukotvení chladicí sekce

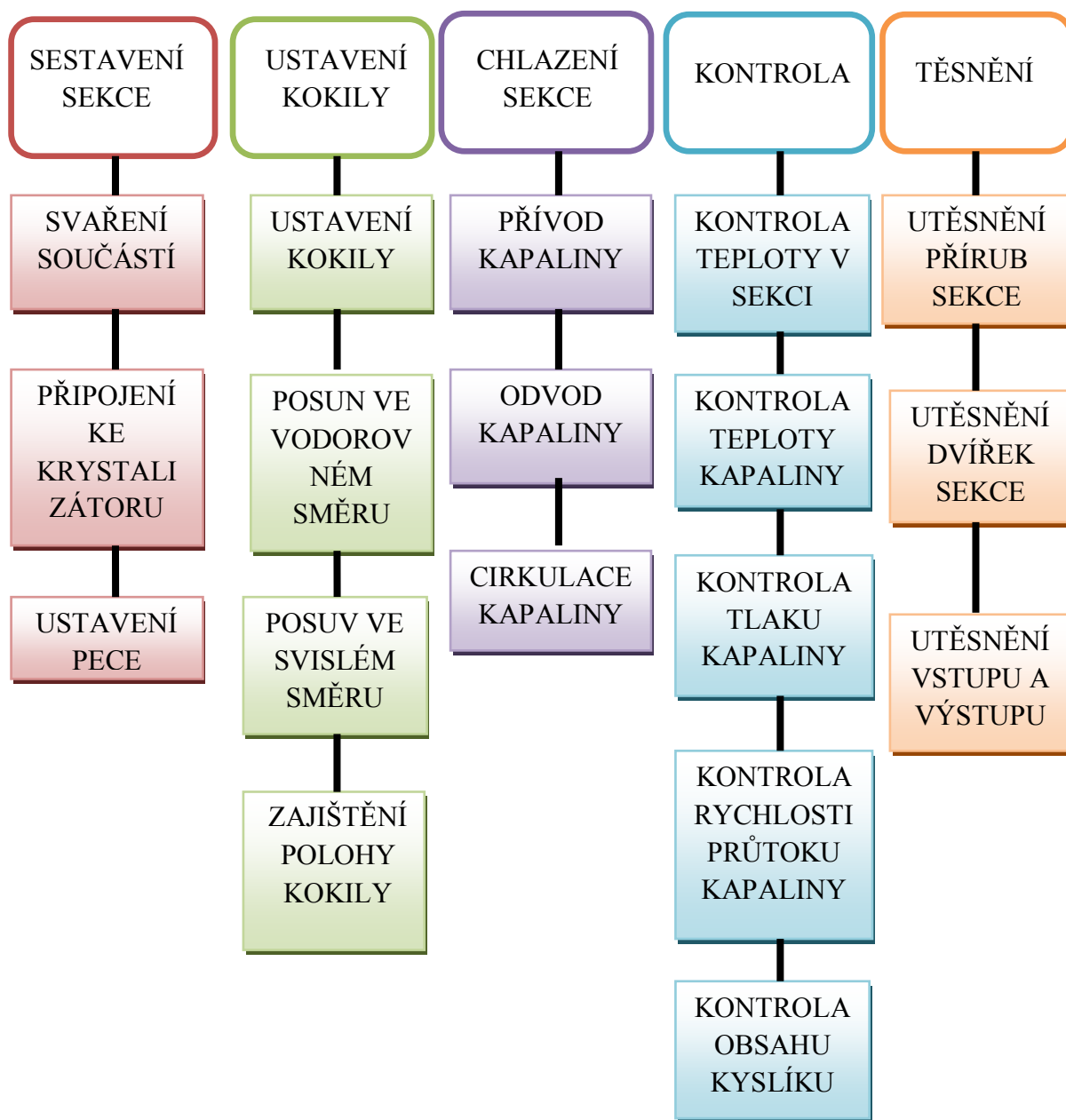
- Ustavení kokily v chladicí sekci
- Posuv kokily v příčném a vodorovném směru
- Zajištění polohy kokily
- Pohon posuvu kokily
- Vedení chlazení
- Vstup a výstup vody
- Zajištění cirkulace vody
- Zajištění ochranné atmosféry
- Hermetizace chladicí sekce
- Kontrola tlaku vody
- Kontrola teploty chladicího media
- Kontrola rychlosti průtoku vody
- Možnost seřízení průtoku vody
- Kontrola teploty uvnitř chladicí sekce
- Kontrola obsahu kyslíku



Obr. 1. Model transformačního procesu chlazení. [1]

3.3. Funkční struktura

Ve funkční struktuře jsou uvedeny dílčí úkoly (funkce), které musí daný technický systém splnit. Tyto úkoly vyplývají z technického procesu. [1].



Obr. 2. Funkční struktura – blokové schéma. [1]

3.4. Orgánová struktura

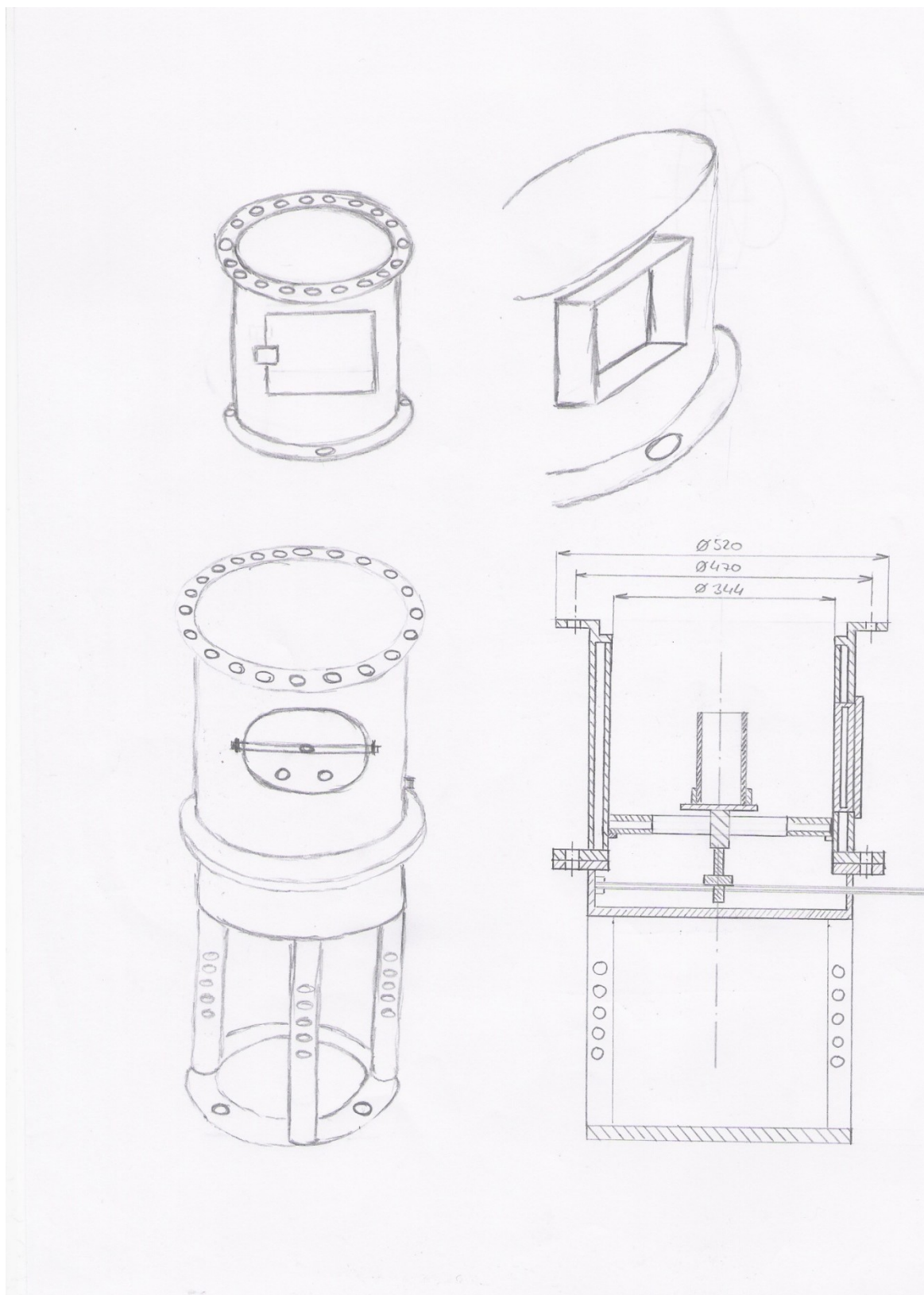
Je jiný druh struktury technického systému, kterou dostaneme při pohledu z funkčního hlediska. Jednotlivé účinkové řetězce jsou tvořeny z funkčních jednotek (orgánů). Orgány je možno ještě členit na nižší funkční jednotky (suborgány) nebo je funkčně spojovat do organismu [1].

Tab. 4. Morfologická matice [1].

Dílčí funkce		Orgány - nositelé funkcí			
		1.	2.	3.	4.
1.	Připojení chladicí sekce ke krystalizátoru umožnit	Svarem	Šroubovým spojem	Rychloupínáním	
2.	Ukotvení chladicí sekce umožnit	Kotevním šroubem	Zasazením do betonu		
3.	Ustavení kokily v chladicí sekci pohánět	Ručně	Mechanicky		
4.	Zajištění polohy kokily	Ručně	Mechanicky		
4.	Posuv kokily v příčném a vodorovném směru umožnit	Mechanicky	Pneumaticky	Hydraulicky	Aktuatorem
5.	Chlazení umožnit	Vodou	Vzduchem	Vodíkem	Nechladit
6.	Přívod chladicí vody umožnit	Hadicí	Trubkou	Tlakovou hadicí	

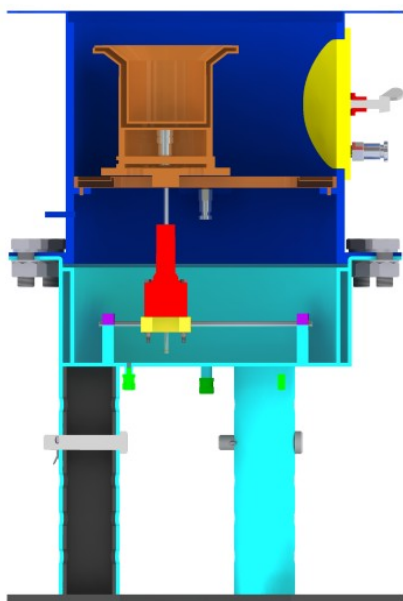
7.	Připojení vody umožnit	Šroubením	Rychlospojka	Trubková koncovka	
8.	Přívod vody zajistit	Z vodovodu	Čerpadlem		
9.	Utěsnění chladicí sekce zajistit	Těsnícím kroužkem	Silikonovým těsněním	Těsnící pastou	
10.	Kontrolu tlaku vody měřit	Digitální tlakoměr	Ručičkový tlakoměr		
11.	Kontrolu teploty vody měřit	Digitální teploměr	Dilatační teploměr	Bezkontaktní (infra) teploměr	Topenářský teploměr
12.	Kontrolu teploty v peci měřit	Digitální teploměr	Dilatační teploměr	Bezkontaktní (infra) teploměr	
13.	Kontrolu průtoku kapaliny měřit	Indukční průtokoměr	Vrtulkovým průtokoměrem		
14.	Kontrolu ochranné atmosféry měřit	Kyslíkovým analyzátozem	Argonovým analyzátozem		
15.	Seřízení průtoku vody zajistit	Ventilem	Kohoutem		

3.5. Hrubá stavební struktura

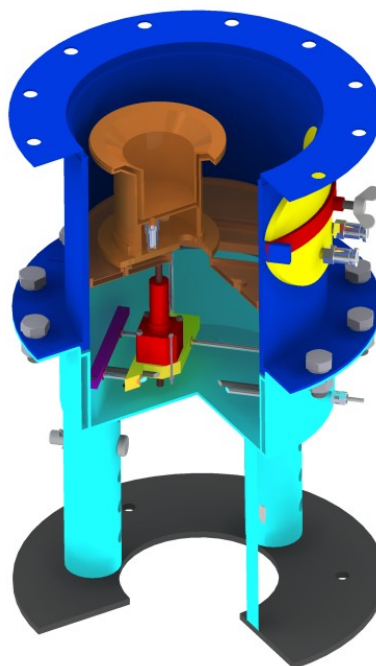


Obr. 3. Hrubá stavební struktura

3.6. Úplná stavební struktura (konstrukční návrh)



Obr. 4. Řez chladicích sekcí



Obr. 5. Částečný řez pecí



Obr. 6. Úplná stavební struktura – 3D studie

4. Výpočet chlazení chladicí sekce laboratorní pece

4.1. Energetická bilance plazmových pecí

Dle [7] lze Energetickou bilanci vyjádřit následovně:

$$P_{el} = P_{zh} + P_{zp} + P_k + P_a \quad [W] \quad (4.1)$$

-kde P_{el}celkový elektrický výkon přivedený sloupcem obloukového plazmatu

P_{zh}ztráty plazmového hořáku

P_{zp}výkonové ztráty způsobené zářením sloupce obloukového plazmatu

P_kvýkon, který je odveden ze sloupce obloukového plazmatu konvekcí

P_avýkon přivedený na anodu

Experimentálně získaná energetická bilance plazmové pece se třemi hořáky uvádí tato data. Energie přivedená na plazmový hořák je vzata za 100%. Obzvláště vysoké jsou ztráty způsobené odvodem tepla z plazmového hořáku, které dosahují v daném případě 30,5%. Na chlazení víka připadá asi 6,6 % a na chlazení anody asi 2,2%. Celkové ztráty vodním chlazením dosahují poté cca 40 %.

L. N. Kuzněcov provedl energetickou bilanci pro pec s jedním plazmovým hořákem. V tomto případě dosahovaly celkové ztráty energie asi 41%.

Tab. 5. uvádí tepelné bilance získané dle literatury [8] pro plazmovou pec s různým příkonem hořáku. V tabulce jsou uvedeny pouze hodnoty pro odvod výkonu katodou, pláštěm a anodou.

Tab. 5. Tepelná bilance pro pec dle [8]

Příkon	Katoda		Plášť		Anoda	
	kW	%	kW	%	kW	%
48.2	1.3	2.7	1.7	3.6	26.2	54.8
43.0	1.6	3.6	2.0	4.7	25.8	60.5
14.2	0.8	5.7	1.3	9.2	8.2	58.2

Z těchto dat vyplývá, že výkon odvedený pláštěm nepřekročí 10 % z celkového příkonu hořáku.

Při samotném výpočtu budu po konzultaci s vedoucím bakalářské práce vycházet z toho, že výkon, který vychází z hořáku a který je potřeba odvést, je odhadnut na 15 kW. Tento výkon je předdimenzovaný z důvodu možné havárie a dalších nepředpokladatelných situací souvisejících s tavbou. Teplota chladicí kapaliny na vstupu je 15 °C.

Zvolené hodnoty:

$$P = 15\,000\text{W}$$

$$t_{\text{H}_2\text{O vstup}} = 15^\circ\text{C}$$

$$w = 3,5\text{ ms}^{-1}$$

$$a = 0,005\text{m}$$

$$b = 0,03\text{m}$$

4.2. Základní bilanční rovnice

Pro ověření správnosti konečného výpočtu a funkčnosti chlazení musí platit bilanční rovnice, ve které je použit zjednodušený výpočet prostupu tepla stěnou, kde počítáme se součinitelem prostupu tepla α . Dalším předpokladem je, že místo s logaritmickým nárůstem teploty budeme počítat s lineárním, tím se zjednoduší výpočet středního teplotního spádu.

$$P = \dot{m} * c_{p_{\text{H}_2\text{O}}} * \Delta t_{\text{H}_2\text{O}} = \alpha * S_K * \Delta \bar{t} \quad [\text{W}] \quad (4.2)$$

-kde P [W].....tepelný výkon, $P=15000\text{W}$

\dot{m}	[kg.s ⁻¹].	.....hmotnostní tok vody
cp_{H_2O}	[J.kg ⁻¹ .K ⁻¹].	..... měrná tepelná kapacita za stejného tlaku
Δt_{H_2O}	[°C].	..... rozdíl teplot na vstupu a výstupu
α	[W.m ⁻² .K ⁻¹].	.....součinitel přestupu tepla
S_k	[m ²].	..... teplosměnná plocha chladicího kanálu
Δt	[°C].	..... střední teplotní spád

4.3. Hmotnostní tok vody

$$\dot{m} = w * S * \rho_{H_2O} \quad [kg.s^{-1}] \quad (4.3)$$

-kde	w	[ms ⁻¹].	.....rychlost proudění vody
	S	[m ²].	.....průřez chladicího kanálu
	ρ_{H_2O}	[kgm ⁻³].	.....hustota vody

4.4. Průřez chladicího kanálku

$$S = a * b \quad [m^2] \quad (4.4)$$

-kde	a	[m].	.....výška kanálu
	b	[m].	.....šířka kanálu

4.5. Výpočet teplotního rozdílu vody na vstupu a výstupu

-při výpočtu vycházíme z části bilanční rovnice $P = \dot{m} * cp_{H_2O} * \Delta t_{H_2O}$, do které dosadíme vztah pro hmotnostní tok vody

$$P = w * a * b * \rho_{H_2O} * c p_{H_2O} * \Delta t_{H_2O} \quad [W] \quad (4.5)$$

-následně potom vyjádříme teplotu Δt_{H_2O}

$$\Delta t_{H_2O} = \frac{P}{w * a * b * \rho_{H_2O} * c p_{H_2O}}$$

$$\Delta t_{H_2O} = \frac{15000}{3,5 * 0,005 * 0,03 * 998 * 4181,8} = 6,84^{\circ} C \doteq \underline{\underline{7^{\circ} C}} \quad [^{\circ}C] \quad (4.6)$$

4.6. Teplota výstupní chladicí vody

- vycházíme z vypočtené hodnoty Δt_{H_2O}

$$\Delta t_{H_2O} = \Delta t_{H_2O \text{ výstup}} - \Delta t_{H_2O \text{ vstup}} \quad [^{\circ}C] \quad (4.7)$$

- z této rovnice následně vyjádříme $\Delta t_{H_2O \text{ výstup}}$

$$\Delta t_{H_2O \text{ výstup}} = \Delta t_{H_2O} + \Delta t_{H_2O \text{ vstup}}$$

$$\Delta t_{H_2O \text{ výstup}} = 7 + 15 = \underline{\underline{22^{\circ} C}} \quad [^{\circ}C] \quad (4.8)$$

4.7. Součinitel přestupu tepla

-získáme vyjádřením ze vztahů pro výpočet Nusseltova čísla

$$Nu = \frac{\alpha * d_h}{\lambda_{H_2O}}$$

$$Nu = C * Re^{0,8} * Pr^{0,4} * \chi \quad [-] \quad (4.9)$$

-kde	Nu	[-]	Nusseltovo číslo
	C	[-]	Konstanta
	d _h	[m]	Hydraulický průměr

λ_{H_2O} [W.m⁻¹.K⁻¹] součinitel tepelné vodivosti

Re [-] Reynoldsovo číslo

χ [-] Teplotní součinitel-u plynů a kapalin $\chi=1$

Pr [-] Prandtlovo kritérium

[9]

Konstanta C=0,023 pro $1 < Pr \leq 150$ a $10^4 < Re < 2 \cdot 10^5$

Konstanta C=0,021 pro $Pr=0,7$ a $Re < 10^6$

-vyjádříme součinitel přestupu tepla α

$$\alpha = 0,021 * Re^{0.8} * Pr^{0.4} * \chi * \frac{\lambda_{H_2O}}{d_h} \quad [W.m^{-2}.K^{-1}] \quad (4.10)$$

4.8. Reynoldsovo číslo

- pomocí Reynoldsova čísla lze zjistit, zda je proudění laminární nebo turbulentní

$$Re = \frac{w * d_h}{\nu_{H_2O}} \quad [-] \quad (4.11)$$

-kde ν_{H_2O} [m²s⁻¹] kinematická viskozita vody

4.9 Hydraulický průměr kanálu

-pomocí tohoto průměru jsme schopni přepočítat nekruhový chladicí kanál na velikost kruhového

$$d_h = \frac{4 * S}{O} \quad [\text{m}] \quad (4.12)$$

-kde O [m] obvod chladicího kanálu

$$O = 2 * (a + b) \quad [\text{m}] \quad (4.13)$$

-dosadíme vzorec pro obvod a průřez chladicího kanálu do vzorce pro hydraulický průměr

$$d_h = \frac{4 * (a * b)}{2 * (a + b)} = \frac{2 * a * b}{a + b} \quad [\text{m}] \quad (4.12)$$

$$d_h = \frac{2 * 0,005 * 0,03}{0,005 + 0,03} = \underline{\underline{8,571 * 10^{-3} \text{ m}}}$$

-nyní můžeme dosadit do vzorce pro Reynoldsovo číslo a vypočítat typ proudění

$$\text{Re} = \frac{3,5 * (8,571 * 10^{-3})}{1,006 * 10^{-6}} = \underline{\underline{29819,6}} \quad [-] \quad (4.11)$$

[4]

Laminární proudění $\text{Re} < 2300$

Přechodová oblast $2300 < \text{Re} < 10000$

Turbulentní proudění $\text{Re} > 10000$

$29819,6 > 10000 \Rightarrow$ proudění je turbulentní

- nyní potřebujeme pro výpočet součinitele přestupu tepla Prandtlovo číslo

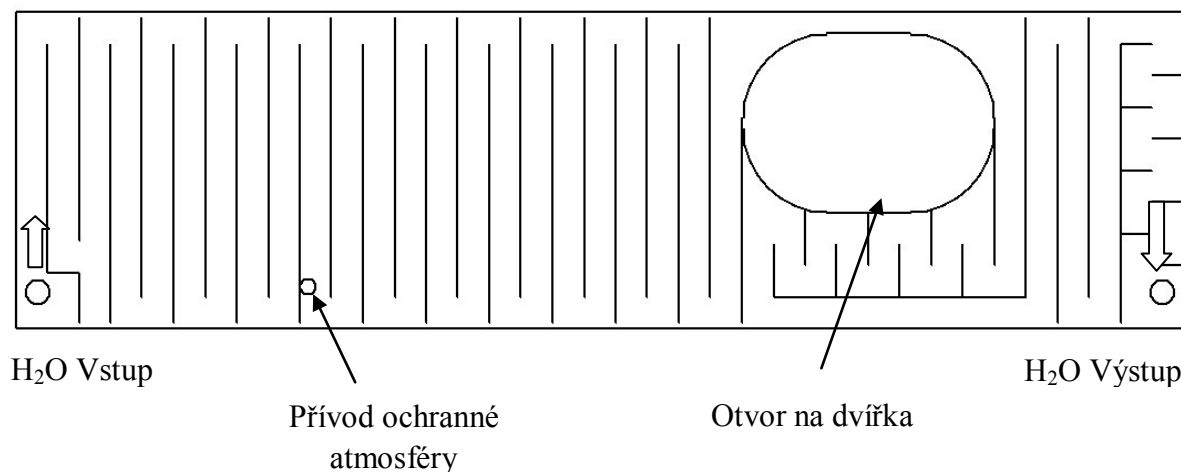
$$\text{Pr} = \frac{\nu_{H_2O}}{a_{H_2O}}$$

$$\text{Pr} = \frac{1,006 * 10^{-6}}{1,43 * 10^{-7}} = \underline{\underline{7,035}} \quad [-] \quad (4.14)$$

-ted' můžeme vypočítat součinitel přestupu tepla

$$\alpha = 0,021 * 29819,6^{0,8} * 7,035^{0,4} * 1 * \frac{0,598}{8,571 * 10^{-3}} = \underline{\underline{11895,149 W m^{-2} K^{-1}}} \quad (4.10)$$

4.10 Teplota vnější stěny pláště



Obr. 7. Schéma rozvinutého pláště s chladicím kanálem

- délka chladicího kanálu byla změřená v aplikaci AutoCAD 2009 $L_k = 9835,68 \text{ mm}$
- pro určení vnější teploty stěny vycházíme z části bilanční rovnice, ze které si vyjádříme střední teplotní spád a vypočteme střední teplotu chladicí vody

$$P = \alpha * S_K * \Delta \bar{t} \quad [W] \quad (4.15)$$

$$\Delta \bar{t} = \frac{P}{\alpha * S_K} \quad [^{\circ}C] \quad (4.16)$$

$$S_K = (a + 2 * b) * L_K \quad [m^2] \quad (4.17)$$

- Nyní spočítáme střední teplotu vody

$$t_{H_2OSř} = \frac{t_{H_2OVstup} + t_{H_2OVýstup}}{2} \quad [^{\circ}C] \quad (4.18)$$

$$t_{H_2OSř} = \frac{15 + 22}{2} = \underline{\underline{18,5^{\circ}C}}$$

$$\Delta \bar{t} = t_{SVně} - t_{H_2OSř} \quad [^{\circ}C] \quad (4.19)$$

- kde $t_{H_2Ostř}$ [°C] střední teplota vody

- Po dosazení do rovnice můžeme dopočítat hodnotu teploty chlazené stěny pláště

$$t_{SVně} = \frac{P}{\alpha(a + 2b)L_K} + t_{H_2Ostř}$$

$$t_{SVně} = \frac{15000}{11895,149 * (0,005 + 2 * 0,03) * 9,835} + 18,5 \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (4.20)$$

$$t_{SVně} = \underline{\underline{20,5^{\circ}\text{C}}}$$

4.11 Teplota vnitřní stěny pláště

- vycházíme z lineární hustoty tepelného toku, kterou získáme tak, že vytáhneme tepelný tok na jednotku délky válce, a dále ze vzorce pro prostup tepla válcovou stěnou

$$q_l = \frac{P}{l} \quad [\text{W.m}^{-1}] \quad (4.21)$$

-kde l [m] výška pláště hořákové sekce

$$q_l = \frac{\pi * (t_{SVnitř} - t_{SVně})}{\frac{1}{2 * \lambda} * \ln \frac{r_2}{r_1}} \quad [\text{W.m}^{-1}] \quad (4.21)$$

-kde t_{SVnit} [°C] teplota vnitřní strany pláště

$t_{SVně}$ [°C] teplota vnější strany pláště

λ [W.m⁻¹.K⁻¹] součinitel prostupu tepla stěny

r_1 [m] poloměr vnitřní strany pláště

r_2 [m] poloměr vnější strany pláště

-volím $\lambda = 21,2$ pro nerezovou ocel chromovou martenzitickou

$$t_{SVnit} = t_{SVně} + \frac{P * \left(\frac{1}{2 * \lambda} * \ln \frac{r_2}{r_1} \right)}{\pi * l}$$

$$t_{SVnit} = 20,5 + \frac{15000 * \left(\frac{1}{2 * 21,2} * \ln \frac{0,183}{0,172} \right)}{\pi * 0,3} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (4.22)$$

$$t_{SVnit} = \underline{\underline{43,76^{\circ}\text{C}}}$$

4.12. Kontrola návrhu chlazení pomocí bilanční rovnice

-vyjdeme z bilanční rovnice, rozdělíme ji na jednotlivé vzorce a dosadíme čísla

-pokud jsou výpočty v pořádku, tak by měl být vypočtený tepelný výkon z obou rovnic přibližně stejný

$$P = \dot{m} * c_{p_{H_2O}} * \Delta t_{H_2O} = \alpha * S_K * \Delta \bar{t} \quad [\text{W}] \quad (4.2)$$

$$P = \dot{m} * c_{p_{H_2O}} * \Delta t_{H_2O}$$

$$P = w * a * b * \rho * c_{p_{H_2O}} * \Delta t_{H_2O}$$

$$P = 3,5 * 0,005 * 0,03 * 998 * 4181,8 * 7 = \underline{\underline{15337,38W}}$$

$$P = \alpha * S_K * \Delta \bar{t}$$

$$P = \alpha * (a + 2 * b) * L_K * (t_{SVně} - t_{H_2OSř})$$

$$P = 11895,149 * (0,005 + 2 * 0,03) * 9,835 * (20,5 - 18,5) = \underline{\underline{15208,54W}}$$

-z výsledků výpočtů bilančních rovnic vyplývá, že chlazení vyhovuje požadavkům

5. Výpočet chlazení manipulačního víka chladicí sekce

-vycházíme ze stejných předpokladů jak v předchozím výpočtu chlazení pláště

-tepelný výkon, který působí na víko je odhadnut na $P_v = 5000W$

-jelikož vycházíme ze stejných vzorců, tak v tomto výpočtu nebudou uvedena odvození, ale bude již dosazeno do vyjádřeného vzorce

$$P_V = \dot{m} * c_{p_{H_2O}} * \Delta t_{H_2OV} = \alpha * S_{KV} * \Delta \bar{t}_V \quad [W] \quad (5.1)$$

-kde P_V [W].....tepelný výkon, P=5000W

\dot{m} [kg.s⁻¹].....hmotnostní tok vody

$c_{p_{H_2O}}$ [J.kg⁻¹K⁻¹]..... měrná tepelná kapacita za stejného tlaku

Δt_{H_2OV} [°C]..... rozdíl teplot na vstupu a výstupu

α [W.m⁻²K⁻¹].....součinitel přestupu tepla

S_{KV} [m²]..... teplosměnná plocha chladicího kanálu víka

Δt_V [°C]..... střední teplotní spád

5.1. Výpočet teplotního rozdílu vody na vstupu a výstupu

$$\Delta t_{H_2OV} = \frac{P_V}{w * a * b * \rho_{H_2O} * c_{p_{H_2O}}}$$

$$\Delta t_{H_2OV} = \frac{5000}{3,5 * 0,005 * 0,03 * 998 * 4181,8} = 2,28^\circ C \doteq \underline{\underline{2,5^\circ C}} \quad [^\circ C] \quad (5.2)$$

5.2. Teplota výstupní chladicí vody

$$\Delta t_{H_2O_{\text{výstup}}} = \Delta t_{H_2OV} + \Delta t_{H_2OV_{\text{stup}}}$$

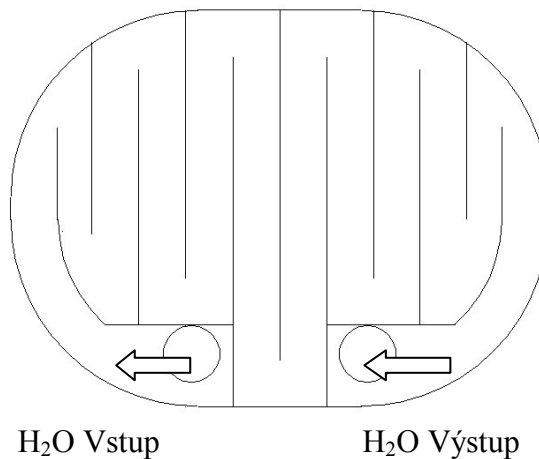
$$\Delta t_{H_2O_{\text{výstup}}} = 2,5 + 15 = \underline{\underline{17,5^\circ C}} \quad [^\circ C] \quad (5.3)$$

5.3. Součinitel přestupu tepla

$$\alpha = 0,021 * Re^{0,8} * Pr^{0,4} * \chi * \frac{\lambda_{H_2O}}{d_h} \quad [W.m^{-2}K^{-1}] \quad (5.4)$$

$$\alpha = 0,021 * 29819,6^{0,8} * 7,035^{0,4} * 1 * \frac{0,598}{8,571 * 10^{-3}} = \underline{\underline{11895,149 W m^{-2} K^{-1}}}$$

5.4 Teplota vnější stěny pláště



Obr. 8. Schéma dvířek s chladicím kanálem

$$t_{H_2OSř1} = \frac{t_{H_2OVstup} + t_{H_2OVýstup1}}{2}$$

$$t_{H_2OSř1} = \frac{15 + 17,5}{2} = \underline{\underline{16,25^\circ C}} \quad [^\circ C] \quad (5.5)$$

- délka kanálu byla opět odečtena ze schémata v programu AutoCAD 2009 a jeho hodnota $L_{kv}=1628.59$ mm

$$t_{SVně1} = \frac{P_V}{\alpha(a + 2b)L_{KV}} + t_{H_2OSř1}$$

$$t_{SVně1} = \frac{5000}{11895,149 * (0,005 + 2 * 0,03) * 1,628} + 16,25 = 20,22^\circ C = \underline{\underline{20,5^\circ C}} \quad (5.6)$$

5.5. Teplota vnitřní stěny pláště

- vycházíme z lineární hustoty tepelného toku, kterou získáme tak, že vztáhneme tepelný tok na jednotku délky válce, a dále z vzorce pro prostup tepla válcovou stěnou

$$q_l = \frac{P}{l} \quad [\text{Wm}^{-1}] \quad (5.7)$$

-kde l [m] výška pláště hořákové sekce

$$q_l = \frac{\pi * (t_{SVnit} - t_{SVně})}{\frac{1}{2 * \lambda} * \ln \frac{r_2}{r_1}} \quad [\text{Wm}^{-1}] \quad (5.7)$$

-kde t_{SVnit} [°C] teplota vnitřní strany pláště

$t_{SVně}$ [°C] teplota vnější strany pláště

λ [$\text{Wm}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$] součinitel prostupu tepla stěny

r_1 [m] poloměr vnitřní strany pláště

r_2 [m] poloměr vnější strany pláště

-volím $\lambda = 21,2$ pro nerezovou ocel chromovou martenzitickou

$$t_{SVnitl} = t_{SVně1} + \frac{P_v * \left(\frac{1}{2 * \lambda} * \ln \frac{r_2}{r_1} \right)}{\pi * l} \quad [\text{°C}] \quad (5.8)$$

$$t_{SVnitl} = 20,5 + \frac{5000 * \left(\frac{1}{2 * 21,2} * \ln \frac{0,183}{0,172} \right)}{\pi * 0,23} = 30,62^\circ \text{C} = \underline{\underline{31^\circ \text{C}}}$$

5.6. Kontrola návrhu chlazení pomocí bilanční rovnice

-vyjdeme z bilanční rovnice, rozdělíme ji na jednotlivé vzorce a dosadíme čísla

-pokud jsou výpočty v pořádku, tak by měl být vypočtený tepelný výkon z obou rovnic přibližně stejný

$$P = \dot{m} * c_{p_{H_2O}} * \Delta t_{H_2O} = \alpha * S_K * \Delta \bar{t} \quad [\text{W}] \quad (5.1)$$

$$P = \dot{m} * c_{p_{H_2O}} * \Delta t_{H_2O}$$

$$P = w * a * b * \rho * c_{p_{H_2O}} * \Delta t_{H_2O}$$

$$P = 3,5 * 0,005 * 0,03 * 998 * 4181,8 * 2,5 = \underline{\underline{5477,64W}}$$

$$P = \alpha * S_{KV} * \Delta \bar{t}$$

$$P = \alpha * (a + 2 * b) * L_{KV} * (t_{SVnl} - t_{H_2OStr1})$$

$$P = 11895,149 * (0,005 + 2 * 0,03) * 1,628 * (20,5 - 16,25) = \underline{\underline{5349,67W}}$$

-z výsledků výpočtů bilančních rovnic vyplývá, že chlazení vyhovuje požadavkům

6. Výpočet chlazení příčky

-vycházíme ze stejných předpokladů jako v předchozím výpočtu chlazení pláště

-tepelný výkon, který působí na víko, je odhadnut na $P_v = 10000W$, a to z důvodu havárie v podobě přeletí nebo vylétí roztavené vsázky z kokily

-jelikož vycházíme ze stejných vzorců, tak v tomto výpočtu nebudou uvedena odvození, ale bude již dosazeno do vyjádřeného vzorce

$$P_p = \dot{m} * c_{p_{H_2O}} * \Delta t_{H_2OP} = \alpha * S_{KP} * \Delta \bar{t}_p \quad [W] \quad (6.1)$$

-kde P_p [W].....tepelný výkon, $P = 5000W$

\dot{m} [kg.s⁻¹].....hmotnostní tok vody

$c_{p_{H_2O}}$ [Jkg⁻¹K⁻¹]..... měrná tepelná kapacita za stejného tlaku

Δt_{H_2OP} [°C]..... rozdíl teplot na vstupu a výstupu

α [Wm⁻²K⁻¹].....součinitel přestupu tepla

S_{kp} [m²]..... teplosměnná plocha chladičeho kanálu víka

Δt_p [°C]..... střední teplotní spád

6.1. Výpočet teplotního rozdílu vody na vstupu a výstupu

$$\Delta t_{H_2OP} = \frac{P_p}{w * a * b * \rho_{H_2O} * cp_{H_2O}}$$
$$\Delta t_{H_2OP} = \frac{10000}{3,5 * 0,005 * 0,03 * 998 * 4181,8} = 4,56^\circ C \doteq \underline{\underline{4,6^\circ C}} \quad [^\circ C] \quad (6.2)$$

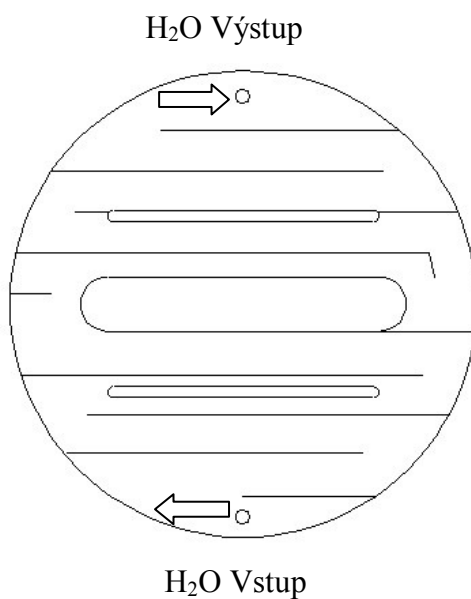
6.2. Teplota výstupní chladicí vody

$$\Delta t_{H_2O\text{výstup}P} = \Delta t_{H_2OP} + \Delta t_{H_2OVstup}$$
$$\Delta t_{H_2O\text{výstup}P} = 4,6 + 15 = \underline{\underline{19,6^\circ C}} \quad [^\circ C] \quad (6.3)$$

6.3. Součinitel přestupu tepla

$$\alpha = 0,021 * Re^{0,8} * Pr^{0,4} * \chi * \frac{\lambda_{H_2O}}{d_h} \quad [Wm^{-2}K^{-1}] \quad (6.4)$$
$$\alpha = 0,021 * 29819,6^{0,8} * 7,035^{0,4} * 1 * \frac{0,598}{8,571 * 10^{-3}} = \underline{\underline{11895,149 Wm^{-2} K^{-1}}}$$

6.4 Teplota vnější stěny pláště



Obr. 9. Schéma dvířek s chladicím kanálem

$$t_{H_2OStP} = \frac{t_{H_2OVstup} + t_{H_2OVýstupP}}{2}$$

$$t_{H_2OStP} = \frac{15 + 19,6}{2} = \underline{\underline{17,3^\circ C}} \quad [^\circ C] \quad (6.5)$$

- délka kanálu byla opět odečtena ze schémata v programu AutoCAD 2009 a její hodnota $L_{kp}=2876,22$ mm

$$t_{svnP} = \frac{P_p}{\alpha(a + 2b)L_{KP}} + t_{H_2OStP}$$

$$t_{svnP} = \frac{10000}{11895,149 * (0,005 + 2 * 0,03) * 2,876} + 17,3 = 21,79^\circ C = \underline{\underline{22^\circ C}} \quad [^\circ C] \quad (6.6)$$

6.5. Teplota vnitřní stěny pláště

- zde je vycházeno ze vzorce pro výpočet prostupu tepla pro rovinnou stěnu

$$q = \frac{t_{svnitP} - t_{svnP}}{\frac{l_p}{\lambda}} = \frac{P_p}{S_p} \quad [Wm^{-1}] \quad (6.7)$$

- kde l_P [m] tloušťka stěny víka-voleno 0,003m
- S_P [m²] teplosměnná plocha víka

$$S_P = \frac{\pi * D^2}{4} - (S_{DR1} + S_{DR2} + S_{DR3})$$

$$S_P = \frac{\pi * 344^2}{4} - (5003,42 + 2212,54 + 6456,64) \quad [\text{m}] \quad (6.8)$$

$$S_P = \underline{\underline{79268,27 \text{ mm}^2 = 0,079268 \text{ m}^2}}$$

- kde S_{DR1} , S_{DR2} a S_{DR3} jsou plochy drážek, které jsou vytvořeny v příčce. Tyto hodnoty byly odměřeny v programu Autodesk Autocad 2009.

D [m] vnitřní průměr pláště

$$t_{svnitP} = \frac{l_P}{\lambda} * \frac{P_P}{S_P} + t_{svnP} \quad [^\circ\text{C}] \quad (6.9)$$

$$t_{svnitP} = \frac{0,003}{385} * \frac{10000}{0,079268} + 22 = \underline{\underline{31,83^\circ\text{C} = 32^\circ\text{C}}}$$

- kde λ [Wm⁻¹.K⁻¹] součinitel prostupu tepla stěny
- volím $\lambda = 385$ pro měď

6.6. Kontrola návrhu chlazení pomocí bilanční rovnice

-vyjdeme z bilanční rovnice, rozdělíme ji na jednotlivé vzorce a dosadíme čísla

-pokud jsou výpočty pořádku, tak by měl být vypočtený tepelný výkon z obou rovnic přibližně stejný

$$P = \dot{m} * c_{p_{H_2O}} * \Delta t_{H_2O} = \alpha * S_K * \Delta \bar{t} \quad [\text{W}] \quad (6.1)$$

$$P = \dot{m} * c_{p_{H_2O}} * \Delta t_{H_2O}$$

$$P = w * a * b * \rho * c_{p_{H_2O}} * \Delta t_{H_2O}$$

$$P = 3,5 * 0,005 * 0,03 * 998 * 4181,8 * 4,6 = \underline{\underline{10078,85W}}$$

$$P = \alpha * S_{KP} * \Delta \bar{t}$$

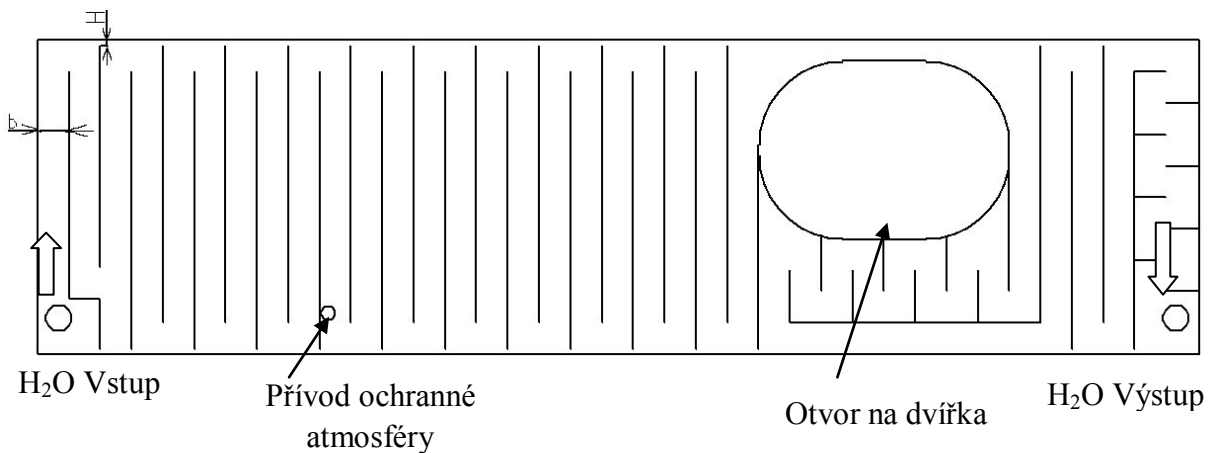
$$P = \alpha * (a + 2 * b) * L_{KP} * (t_{Svp} - t_{H_2OstP})$$

$$P = 11895,149 * (0,005 + 2 * 0,03) * 1,628 * (20,5 - 16,25) = \underline{\underline{5349,67W}}$$

-z výsledků výpočtů bilančních rovnic vyplývá, že chlazení vyhovuje požadavkům

7. Výpočet tlakových ztrát

7.1. Schéma rozvinutého pláště s chladicím kanálem



Obr. 10. Schéma rozvinutého pláště s chladicím kanálem

-kde H - rozměr odsazení od konců pláště z důvodu zabránění tvorby bublinek, které by se mohly kumulovat v rozích a způsobovat špatné vychlazování.

b – šířka chladicího kanálu

7.2. Výpočet celkové tlakové ztráty

$$\Delta p_Z = \Delta p_{ztr} + \Delta p_{zm} \quad [\text{Pa}] \quad (7.1)$$

-kde Δp_Z [Pa] celková tlaková ztráta

Δp_{ztr} [Pa] celkové ztráty třením

Δp_{zm} [Pa] celkové místní ztráty

7.3. Výpočet třecích ztrát

7.3.1 Stanovení součinitele tření

$$\Lambda = \frac{A}{\text{Re}^n} = \frac{0,129}{29819,6^{0,12}} = \underline{\underline{0,0375}} \quad [-] \quad (7.2)$$

A-pro drsné kovové potrubí A=0,129

n-pro drsné kovové potrubí n=0,12

- kde Λ [-] součinitel tření

A [-] koeficient

n [-] koeficient

7.3.2. Výpočet tlakové ztráty třením

$$\Delta p_{ztr} = \Lambda * \frac{L_V}{d_h} * \frac{w^2 * \rho}{2} * n_u \quad [\text{Pa}] \quad (7.3)$$

- Nyní spočítáme tlakové ztráty třením na jednotlivých délkách potrubí

$$\Delta p_{ztr0,240} = 0,0375 * \frac{0,240}{8,571 * 10^{-3}} * \frac{3,5^2 * 998}{2} * 26 = \underline{\underline{166886,42 Pa}}$$

$$\Delta p_{ztr0,265} = 0,0375 * \frac{0,265}{8,571 * 10^{-3}} * \frac{3,5^2 * 998}{2} * 1 = \underline{\underline{7087,32 Pa}}$$

$$\Delta p_{ztr0,187} = 0,0375 * \frac{0,187}{8,571 * 10^{-3}} * \frac{3,5^2 * 998}{2} * 1 = \underline{\underline{5001,24 Pa}}$$

$$\Delta p_{ztr0,032} = 0,0375 * \frac{0,032}{8,571 * 10^{-3}} * \frac{3,5^2 * 998}{2} * 1 = \underline{\underline{855,83 Pa}}$$

$$\Delta p_{ztr0,020} = 0,0375 * \frac{0,020}{8,571 * 10^{-3}} * \frac{3,5^2 * 998}{2} * 8 = \underline{\underline{4279,14 Pa}}$$

- Výpočet celkové tlakové ztráty

$$\Delta p_{ztr} = \Delta p_{ztr0,240} + \Delta p_{ztr0,265} + \Delta p_{ztr0,187} + \Delta p_{ztr0,032} + \Delta p_{ztr0,020}$$

$$\Delta p_{ztr} = 166886,42 + 7087,32 + 5001,24 + 855,83 + 4279,14$$

$$\Delta p_{ztr} = \underline{\underline{184109,95 Pa}} \quad [Pa] \quad (7.4)$$

- kde Δp_{ztr} [Pa] celková tlaková ztráta třením

$$\Delta p_{ztr0,240} \quad [Pa] \quad \text{tlaková ztráta třením na úsecích délky 0,240}$$

$$\Delta p_{ztr0,265} \quad [Pa] \quad \text{tlaková ztráta třením na úsecích délky 0,265}$$

$$\Delta p_{ztr0,187} \quad [Pa] \quad \text{tlaková ztráta třením na úsecích délky 0,187}$$

$$\Delta p_{ztr0,032} \quad [Pa] \quad \text{tlaková ztráta třením na úsecích délky 0,032}$$

$$\Delta p_{ztr0,020} \quad [Pa] \quad \text{tlaková ztráta třením na úsecích délky 0,020}$$

$$n_u \quad [-] \quad \text{počet úseků}$$

7.3.3. Výpočet tlakových ztrát místními odpory

Ztrátový součinitel místními odpory je závislý především na druhu místní ztráty, konstrukčních parametrech a na režimu proudění. V tabulkách je uveden druh místního odporu v navrženém kanálu a k němu přiřazená hodnota ztrátového součinitele ξ .

$$\Delta p_{zm} = \xi * \frac{w^2 * \rho}{2} * n_K \quad [\text{Pa}] \quad (7.5)$$

-kde n_K [-] počet úseků-kolen s ostrým zaoblením

7.3.4. Ztráta na vtoku s rozšířeným průřezem

a) součinitel tření na vtoku s rozšířeným průřezem

$$\xi_3 = \left[1 - \frac{S}{S_1} \right]^2 \quad [-] \quad (7.6)$$
$$\xi_3 = \left[1 - \frac{7,854 * 10^{-5}}{1,5 * 10^{-4}} \right]^2 = \underline{\underline{0,227}}$$

$$S = \frac{\pi * d_v^2}{4} = \frac{\pi * 0,010^2}{4} = \underline{\underline{7,854 * 10^{-5} m^2}} \quad [m^2] \quad (7.7)$$
$$S_1 = a * b = 0,005 * 0,03 = \underline{\underline{1,5 * 10^{-4} m^2}}$$

-kde ξ_3 [-] součinitel tření na vtoku

S_v $[m^2]$ průřez vtoku

S_1 $[m^2]$ průřez chladicího kanálu

d_v $[m^2]$ průměr vtoku

a $[m]$ výška kanálu

b $[m]$ šířka kanálu

b) výpočet tlakové ztráty na vstupním průřezu

$$\Delta p_{Zst} = \xi_3 * \frac{w^2 * \rho}{2}$$

$$\Delta p_{Zst} = 0,227 * \frac{3,5^2 * 998}{2} = \underline{\underline{1387,59 Pa}} \quad [Pa] \quad (7.8)$$

7.3.5. Výpočet ztráty v kolenu s ostrým ohybem 90°

a) součinitel místní ztráty v ohybu 90°

$$\xi_6 = A * B * C \quad [-] \quad (7.9)$$

$$\xi_6 = 1,2 * 1,25 * 1,14 = \underline{\underline{1,71}}$$

Dle [4] jsem použil hodnoty A = 1,2; B = 1,25; C = 1,14

-kde ξ_6 [-] součinitel tření na vtoku

n_{k90} [-] počet kolen s ostrým ohybem 90°

b) výpočet místní ztráty v kolenu s ostrým ohybem 90°

$$\Delta p_{Zn90} = \xi_6 * \frac{w^2 * \rho}{2} * n_{K90} \quad [Pa] \quad (7.10)$$

$$\Delta p_{Zn90} = 1,71 * \frac{3,5^2 * 998}{2} * 84 = \underline{\underline{878035,41 Pa}}$$

7.4. Celková tlaková ztráta

$$\Delta p_Z = \Delta p_{Ztr} + \Delta p_{Zmst} + \Delta p_{Zn90} \quad [Pa] \quad (7.11)$$

$$\Delta p_Z = 184109,95 + 1387,59 + 878035,41 = \underline{\underline{1063532,95 Pa}} = \underline{\underline{1,0635 MPa}}$$

8. Technický popis zařízení

Chladicí sekci tvoří dvě hlavní části, chladicí sekce laboratorní pece a dno této pece, viz obr. 11., pozice 1. a 2. Pro výrobu chladicí sekce je použita chrom-martenzitická nerezová ocel.

Chladicí sekce je vyrobena jako svařenec a následně obrobená. Vnější a vnitřní stěnu tvoří plech o tloušťce 3 mm, mezi plechy je mezera 5 mm, která slouží pro odvod přebytečného tepla pomocí chladicí vody viz obr. 11., pozice 3. Průtok vody je usměrněn pomocí nastehovaného drátu na stěnu chladicí sekce. Přívod chladicí vody je proveden za pomoci trubky, na jejímž konci je závit, na který se našroubuje bezúkapová spojka, tato spojka je použita také pro přívod chlazení do manipulačního víka viz obr. 11., pozice 4.

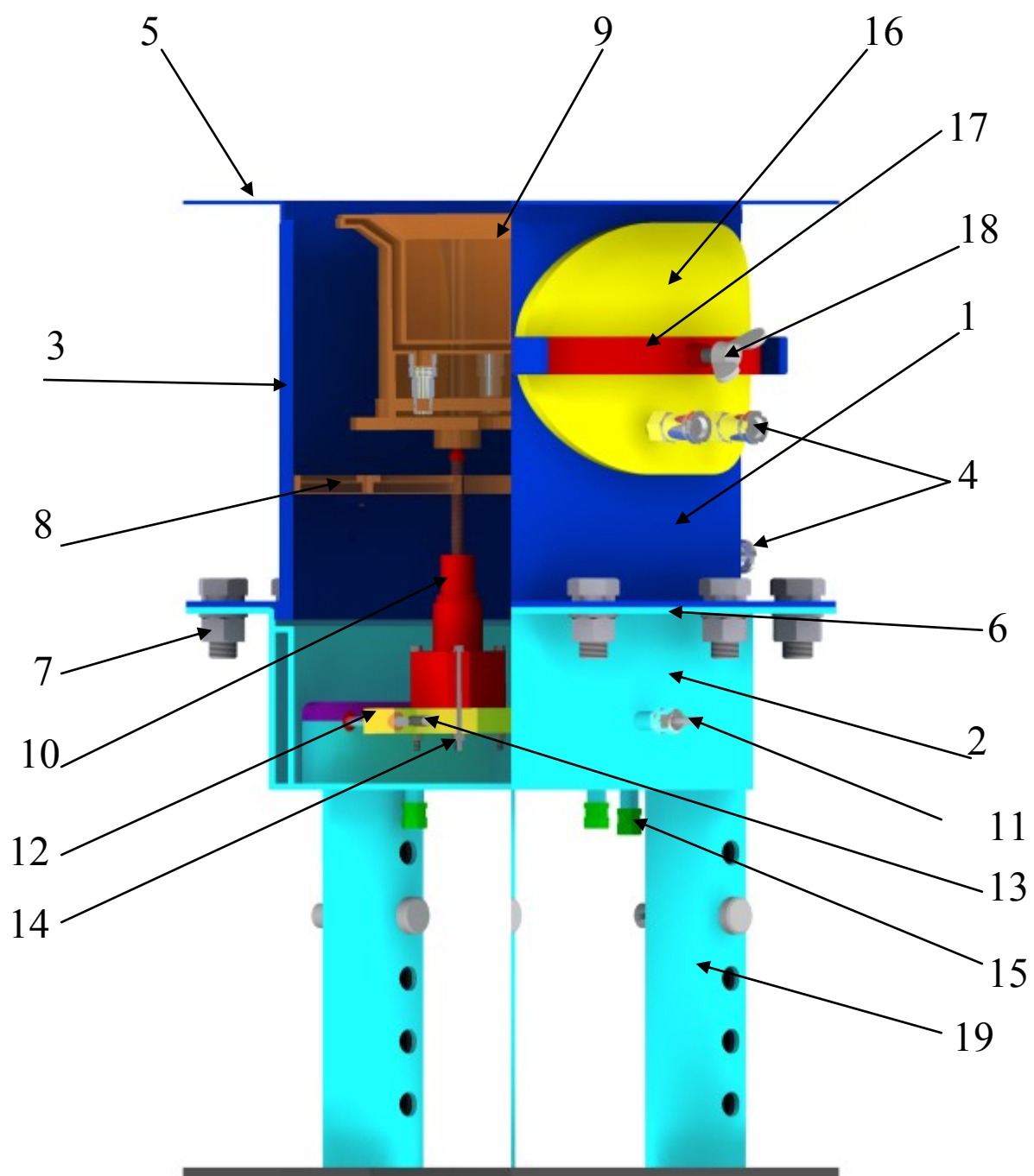
Na horní a spodní části pláště jsou příruby, které slouží pro připojení hořákové sekce a dna pece, viz obr. 11., pozice 5. a 6. Uchycení je realizováno šroubovým spojem, viz obr. 11., pozice 7. Těsnost spoje musí být zabezpečena těsněním, které se vloží mezi příruby.

Uvnitř chladicí sekce se nachází vodou chlazená příčka, která je vyrobena z měděného plechu, a v níž je rovněž nastehovaný drát, který usměrňuje protékající vodu, viz obr. 11., pozice 8. Tato příčka slouží k oddělení chladicí sekce ode dna pece a také k zabránění poškození dalších částí pece v případě havárie.

Dno pece je rovněž svařenec, ve kterém se nachází mechanismus, který je určený pro podélný a vertikální posuv kokily. Tento mechanismus je složen z pohybového šroubu a lineárního aktuátoru. Pohybový šroub pohybuje destičkou, která je upevněna na dvou vodících tyčích. Na této destičce je připevněn aktuátor pomocí čtyř šroubů, který zajišťuje vertikální posuv kokily. V tomto případě se může kokila posunout ve vertikálním směru o 35 mm, jak je ukázáno na obr. 11. Výška posuvu závisí na velikosti a tvaru kokily. Všechny části tohoto posuvu jsou ukázány na obr. 11. pozice 9. až 14. Ve dně této pece se nacházejí hadicové průchodky, kterými budou procházet hadice pro přívod chladicí vody, viz obr. 11., pozice 15.

Celá sekce je potom uzavřena manipulačním víkem, které je dotlačováno k plášti pomocí šroubu a příložky viz obr. 11. pozice 16. až 18. Těsnost mezi pláštěm a dvířky je zajištěna pomocí těsnění.

Ve spodní části dna jsou připevněny tři nohy, pomocí kterých se dá celá pec nastavit do potřebné výšky, viz obr. 11. pozice 19. Celá pec je potom připevněna třemi kotvicími šrouby k podlaze laboratoře.



Obr. 11. Posuv kokily

9. Závěr

Tato práce se zabývala hlavně návrhem chladicího okruhu, který by dokázal odvést energii vyvolanou tavením vsázky. Při výpočtech bylo vycházeno především se základní bilanční rovnice, která byla upravena a zjednodušená tak, aby dokázala, zda je chladicí okruh reálný. Další důležitou součástí výpočtu je zjištění součinitele prostupu tepla, pomocí kterého lze zjistit teplota vnější a vnitřní stěny pláště.

K vypracování práce byl použit textový editor Microsoft Word, dalšími softwary, které byly použity k nákresům a nezbytným výpočtům, jsou Autodesk AutoCad 2009 a Microsoft Excel.

Při konstrukci samotné chladicí sekce bylo vycházeno z požadavků, které byly na toto zařízení kladeny. Pro možnost podélného a vertikálního posuvu kokily byla zvolena kombinace mechanického a automatického posuvu, který je zprostředkovaný pohybovým šroubem a lineárním aktuátorem. Toto uspořádání bylo voleno s ohledem na malý prostor a na velikost posuvu.

Celkový model sestavy chladicí sekce laboratorní plazmové pece byl zpracován v programu Autodesk Inventor 2009. Výkresová dokumentace byla vytvořena převedením 3D modelu do 2D podoby a následným zpracováním v programu Autodesk AutoCad 2009.

10. Seznam použité literatury

10.1. Knihy a časopisy

- [1] HUBKA, V. *Konstrukční nauka: Obecný model postupu při konstruování*. Zürich: Heurista, 1995. 118 s. ISBN 80-90 1135-0-8.
- [2] KADLEC, Z. *Termomechanika: Návod do cvičení*. 2. Vydání. Ostrava: Editační středisko VŠB-TU. 2008. 100 s. ISBN 978-80-248-1736-1
- [3] MACHÁČEK, V. *Chladicí voda v průmyslu*. Vydání první. Praha 2. SNTL. 1959. 184 s. L 17-B3-3-II/7405
- [4] VOMOČIL, Z., HAJKR Z., JUREČKA P. *Cvičení do sdílení tepla a proudění*. 1. vydání. Ostrava: Editační středisko VŠB-TUO. 2000. 100 s. ISBN 80-7078-793-7.
- [5] LEINVEBER, J., VÁVRA, P. *Strojnické tabulky*. Vydání první. Albra 2003. 868 s. ISBN 80-86490-74-2
- [6] Podklady poskytnuté vedoucím Bakalářské práce.
- [7] NOGA., Z. *Laboratorní plazmové zařízení pro polokontinuální tavení a zpracování materiálů*. In Acta Metallurgice Slovaca. ročník 2005, roč. 11 , č. 3, s 266 - 276, USSN 1335-1532
- [8] JABLONSKÝ, D. NOGA, Z. *Vývojová tendence v konstrukci zařízení pro výzkum materiálů pomocí plazmové technologie*. In *TRANSFER 2004 – Zborník prednášok zo 6. medzinárodnej vedeckej konferencie*. Trenčín: Fakulta špeciálnej techniky, Trenčianská univerzita A. Dubčeka, 2004, s 209 - 212, ISBN 80-8075-030-0.
- [9] PŘÍHODA, M., RÉDL, M. *Sdílení tepla a proudění*. 1.vydání. Ostrava: Editační středisko VŠB-TUO. 1998. 180 s. ISBN 80-7078-549-7.

10.2. Internetové zdroje

- [10] WIKIPEDIE – Chladicí médium [online]. [cit. 2010-10-06]. Dostupný z WWW: http://cs.wikipedia.org/wiki/Chladic%C3%AD_m%C3%A9dium

- [11] WIKIPEDIE – Water cooling [online]. [cit. 2010-10-19]. Dostupný z WWW:
http://en.wikipedia.org/wiki/Water_cooling
- [12] WIKIPEDIE – Argon [online]. [cit. 2010-12-01]. Dostupný z WWW.
<http://cs.wikipedia.org/wiki/Argon>

11. Seznam obrázků

Obr. 1. Model transformačního procesu

Obr. 2. Funkční struktura – blokové schéma

Obr. 3. Hrubá stavební struktura

Obr. 4. Řez chladicích sekcí

Obr. 5. Částečný řez pecí

Obr. 6. Úplná stavební struktura – 3D studie

Obr. 7. Schéma rozvinutého pláště s chladicím kanálem

Obr. 8. Schéma dvířek s chladicím kanálem

Obr. 9. Schéma přepážky s chladicím okruhem

Obr. 10. Schéma rozvinutého pláště s chladicím kanálem

Obr. 11. Posuv kokily

